

На правах рукописи

ГАНИЕВ СТАНИСЛАВ РИВНЕРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ГОМОГЕНИЗАЦИИ БУРОВЫХ
И ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ, ОСНОВАННЫХ НА ЭФФЕКТАХ
ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ**

Специальности 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин
05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы
(нефтегазовая отрасль)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2010

Работа выполнена в лаборатории нелинейных волновых процессов в нефтегазовом комплексе Научного центра нелинейной волновой механики и технологии РАН

- Научный руководитель** - кандидат технических наук
Сонин Валерий Николаевич
- Научный консультант** - доктор технических наук
Украинский Леонид Ефимович
- Официальные оппоненты:** - доктор технических наук, профессор
Фролов Андрей Андреевич
- кандидат технических наук
Мнацаканов Александр Васильевич
- Ведущая организация** - Уфимский государственный
нефтяной технический университет
(УГНТУ)

Защита состоится «24» марта 2010 года в 15 часов 30 минут на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 002.263.01 при Научном центре нелинейной волновой механики и технологии РАН (НЦ НВМТ РАН) по адресу: г. Москва, 119334, ул. Бардина, д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НЦ НВМТ РАН по адресу: г. Москва, 119334, ул. Бардина, д.4.

Автореферат разослан «24» февраля 2010 года



Ученый секретарь
диссертационного совета

Аверьянов А.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Строительство нефтяных и газовых скважин в нефтедобывающей отрасли России – одно из капиталоемких и наиболее ответственных мероприятий при разработке месторождений углеводородов. Поэтому снижение затрат на бурение, при сохранении качества и экологической безопасности буровых работ является актуальной задачей, позволяющей снизить объем капитальных вложений и, в конечном счете, повысить рентабельность отрасли.

В свою очередь, большая часть затрат на бурение зависит от буровых растворов. Геолого-технические условия бурения скважин постоянно меняются: растут глубины, расширяются регионы буровых работ на суше и на море. В последние годы резко возросли экологические требования к процессу бурения в целом, и к буровым растворам в частности, поскольку они содержат в своем составе до десятка необходимых, но опасных для окружающей среды компонентов (солей, щелочей, поверхностно-активных веществ и др.)

Не меньшее значение при строительстве нефтяных и особенно газовых скважин придается обеспечению герметичности заколонного пространства, заполняемого, как правило, тампонажным раствором на минеральной основе.

Вопросу создания буровых и тампонажных растворов с требуемыми технологическими свойствами уделяется достаточно серьезное внимание, но проблемам энергетически оправданного смешения порошкообразных материалов и дисперсионной среды с различными малыми добавками, регулирующими те или иные физико-механические и реологические характеристики сухих смесей и растворов из них - внимание явно недостаточное и до сих пор остается на уровне смешения механическими и гидродинамическими мешалками.

Цель работы

Повышение эффективности строительства нефтяных и газовых скважин интенсификацией процессов приготовления и активации буровых и тампонажных растворов аппаратами, реализующими эффекты волновой механики.

Основные задачи исследований

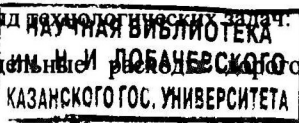
1. Обобщение технологических требований к буровым и тампонажным растворам.
2. Создание теоретических основ совершенствования технологий приготовления и активации буровых и тампонажных растворов.
3. Лабораторные и промысловые исследования волновой обработки исходных материалов (сухих смесей) и водных суспензий промывочных и тампонажных растворов для получения растворов с заданными технологическими характеристиками.
4. Создание устройств на волновых принципах и ресурсосберегающих технологий с их использованием для интенсификации процессов приготовления промывочных и тампонажных растворов.

Научная новизна работы

1. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены эффекты энергосбережения при смешении и гомогенизации сухих композиций для приготовления буровых и тампонажных растворов с заранее заданными свойствами.

2. Экспериментально установлено, что при механической активации водных растворов полимеров происходит механическое расщепление и механодеструкция их макромолекул, появление свободных радикалов и ионов, образование и рост реакционных цепей и др., что позволяет решить целый ряд технологических задач:

- уменьшить удельные расходы дорогостоящих компонентов, например, полимеров;



- получать новые порошкообразные и жидкофазные композиционные материалы с заранее заданными свойствами (вязкостными, структурно-механическими и т.д.);
- повысить уровень агрегативной устойчивости и стабильности структурно-механических свойств растворов;
- повысить плотность структуры и прочность цементного камня при затвердевании тампонажных систем при одновременном уменьшении расхода цемента и полимерных добавок;
- повысить степень герметизации заколонного пространства скважин;
- создавать тампонажные композиционные материалы с использованием промышленных отходов (хроматных шламов, зол ТЭЦ и т.п.);
- создавать жидкофазные буровые композиционные материалы с улучшенными трибологическими свойствами, применение которых позволяет уменьшить износ инструмента при высоких скоростях бурения.

Практическая ценность и реализация результатов работ

1. На основании обобщения технологических требований к буровым и тампонажным растворам созданы теоретические основы совершенствования процессов приготовления, смешения, гомогенизации и активации как исходных сыпучих продуктов, так и водных суспензий на их основе с заранее заданными свойствами, позволяющие широко использовать новейшие достижения нелинейной волновой механики для создания наукоемких ресурсосберегающих технологий.

2. Разработаны технологические схемы введения различных химических добавок в сухие смеси для получения промысловых растворов с заранее заданными свойствами в условиях буровой.

3. Предложена технология приготовления и гомогенизации облегченных и утяжеленных тампонажных суспензий в условиях буровой, а

также волновая обработка тампонажного раствора в зоне продуктивного пласта с целью недопущения перетоков и герметизации заколонного пространства нефтяных и газовых скважин.

Апробация результатов исследований

Содержание работы докладывались и обсуждались на научно-практической конференции «Экологические проблемы производства и потребления поверхностно-активных веществ» (Россия, Москва, 4- 10 апреля 2007г.), на VII Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях(NPNJ-2008),(Алушта, 24-31 мая 2008 г), на III-й Международной конференции «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках», (Москва, 21-23 октября 2008 г), на Международной научно-практическом семинаре «Повышение нефтеотдачи пластов и капитальный ремонт скважин», (Самара, 26-31 мая 2008), на Международной конференции « Потоки и структуры в жидкостях: Физика геосфер», (Москва, 24-27 июня 2009 г).

Публикации

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 15 печатных работах, в том числе 1 статья в журналах, рекомендованных ВАК РФ, патентов 3, монографий 1.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, основных выводов и рекомендаций, списка использованных источников из 85 наименований. Изложена на 196 страницах машинописного текста, содержит 69 рисунков и 12 таблиц.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность доктору технических наук Украинскому Л.Е., кандидату технических наук Сонину В.Н. за неоценимую помощь и поддержку при выполнении диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований, поставлена цель и определены основные задачи диссертационной работы, сформулированы научная новизна, практическая ценность и показана реализация результатов работ.

В первом разделе рассмотрены основные технологические требования к буровым растворам и тампонажным композициям.

Спектр функций, выполняемых буровыми растворами, постоянно расширяется. Сравнительно недавно появилась и стала бурно развиваться смазывающая и противоизносная функция буровых растворов. Развитие этого направления работ во многом подвигли те впечатляющие успехи, которые были достигнуты в области снижения трения и износа различных машин и механизмов, благодаря смазочным материалам. Другим примером является функция бурового раствора по защите бурильного инструмента от коррозии и нейтрализации агрессивных жидкостей и газов, поступающих в скважину из разбуриваемых пластов.

Можно сформулировать такое общее требование к промывке скважин и буровым растворам: они должны обеспечивать безопасную для недр, окружающей среды и работников проводку скважины до проектной глубины с высокими технико-экономическими показателями при минимальных затратах времени и средств. Из этого общего требования вытекает ряд частных:

1. Не нарушать устойчивость стенки скважины;
2. Не снижать естественную проницаемость продуктивных горизонтов;
3. Сохранять свои свойства при низких и высоких температурах в стволе скважины, при поступлении в раствор выбуренной породы и пластовых флюидов;
4. Не вызывать коррозию оборудования и инструмента, работающих в

среде бурового раствора;

5. Не создавать опасности для недр, окружающей среды и обслуживающего персонала;

6. Быть доступной и по возможности дешевой.

Для выполнения технологических функций и удовлетворения предъявляемым требованиям физико-химические свойства буровых растворов необходимо регулировать. Это достигается вводом в них различных добавок для обеспечения требуемых технологических характеристик.

Современные технологии и технические средства для приготовления и гомогенизации буровых растворов обеспечивают достаточно высокую производительность (до 100 м³/час и выше), практически полную механизацию процесса, но, однако, не обеспечивают главного – достаточной степени диспергирования твердой фазы. В результате приготовленный буровой раствор приходится доводить до требуемой кондиции путем многократной циркуляции в системе приготовления, либо в циркуляционной системе буровой установки.

Свойства дисперсных систем, каковыми является подавляющее большинство буровых растворов, очень сильно зависят от концентрации твердой фазы, которую можно регулировать изменением массовой концентрации, но в гораздо большей степени изменением дисперсности (размеров частиц) дисперсной фазы. Она возрастает с увеличением, как массовой концентрации дисперсной фазы, так и ее дисперсности. Увеличение дисперсности значительно эффективнее, поскольку оно не вызывает изменения плотности бурового раствора, не требует дополнительных затрат дисперсной фазы, повышает седиментационную устойчивость и уменьшает его абразивность.

Особенно эти требования предъявляются к качеству тампонажного раствора и камня из него.

В качестве тампонажных материалов в настоящее время широко применяются минеральные вяжущие вещества – порошкообразные продукты, образующие при так называемом затворении, т.е. при смешивании с водой или водными растворами солей, нерасслаивающиеся суспензии, способные к затвердеванию.

В качестве вяжущего обычно используется тампонажный портландцемент, который представляет собой разновидность портландцемента – порошкообразного минерального неорганического вяжущего материала, состоящего главным образом из высокоосновных силикатов кальция.

Несмотря на все разнообразие вяжущих веществ, служащих основой для получения тампонажных дисперсий, процесс превращения их из вязкопластичного в камневидное состояние всегда включает образование специфических аквакомплексов — гидратных фаз, их частичную или полную кристаллизацию и вхождение в пространственную структуру твердеющего материала, постепенно приобретающего высокую механическую прочность.

Многими исследователями показано, что механические воздействия в зависимости от частоты, времени их приложения и длительности могут в широких пределах изменять период формирования структуры, т. е. управлять процессом структурообразования при твердении. Кроме того, найдены стадии структурообразования, на которых механическая и волновая обработки дают наилучшие результаты

При волновом воздействии каждая частица тампонажной смеси начинает колебаться, вследствие чего на границе частиц с дисперсионной средой происходит тиксотропное разжижение смеси до состояния временной текучести. Эти изменения реологических свойств цементных растворов при воздействии колебаний позволяют добиться однородной смеси, а также увеличить степень гидратации цемента.

Скорость нарастания пластической прочности в период упрочнения структуры цементного теста увеличивается. Предел прочности на одноосное сжатие образцов цементного камня, полученных из активированного теста, оказался значительно более высоким, чем для образцов, приготовленных без активирования. Это обусловлено увеличением равномерности распределения воды между зернами цемента при низком В/Ц, приводящее к повышению пластичности и снижению прочности коагуляционной структуры, дополнительным механическим диспергированием зерен цемента и ускорению процессов гидратации за счет усиления процессов адсорбционного и химического диспергирования и постоянного отвода продуктов гидратации с поверхности вибрирующих зерен и обнажения свежих поверхностей для дальнейшей гидратации.

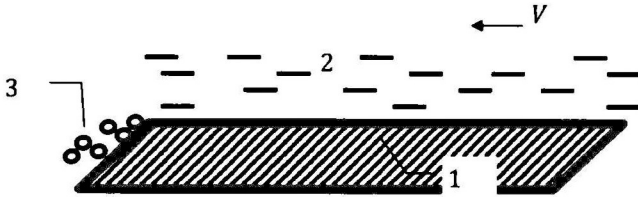
Волновое воздействие позволяет максимально использовать вяжущие свойства цемента в результате увеличения дисперсности твердой фазы. При этом диспергирование может быть двояким: измельчение твердых поликристаллических частиц цемента, взвешенных в жидкой среде, и пептизация, т. е. разделение агрегатов слипшихся частиц (флокул).

Механическая активация тампонажных растворов улучшает не только физико-механические свойства цементного камня, но и реологические свойства тампонажного раствора, обеспечивает более быстрое формирование прочного цементного кольца в затрубном пространстве.

Во втором разделе рассмотрены теоретические основы совершенствования технологий приготовления буровых и тампонажных растворов.

Известны различные физические явления и процессы, в которых возникает очень высокая локальная концентрация энергии при небольших средних затратах мощности (гидродинамические, акустические, электрогидравлические и др.) нам представляется наиболее интересным использование кавитации.

Во-первых, кавитация довольно легко технически реализуется при атмосферном давлении: достаточно весьма небольших затрат мощности для организации течения с нарушением сплошности потока (рис. 1).



1 - твердая стенка; 2 - текущая жидкость; 3 - кавитационные пузыри; V- скорость потока

Рисунок 1 - Схема образования кавитации

Известно, что кавитация – нарушение сплошности потока жидкости – возникает при условии :

$$P - \frac{\rho V^2}{2} \leq Z \quad (1)$$

где P – гидростатическое давление в потоке жидкости; V - скорость потока; ρ - плотность жидкости; Z – объемная прочность жидкости, которую можно принимать равной давлению упругости ее пара.

Из выражения (1.1) можно определить скорость потока, при которой возникает кавитация

$$V \geq \sqrt{\frac{2(P-Z)}{\rho}} \quad (2)$$

Во-вторых, кавитационные пузыри сносятся потоком в область повышенного давления, где они схлопываются с образованием гидравлического удара. Возникающее при этом давление P_y можно определить по формуле Н.Е. Жуковского

$$P_y = \rho \cdot V \cdot c \quad (3)$$

где ρ - плотность жидкости; V - скорость потока; c – скорость

распространения ударной волны, которую можно принимать равной скорости звука в жидкости. Для диспергирования твердой фазы в суспензии кавитация будет весьма полезной, поскольку кавитационные пузыри, как известно, легче всего образуются вокруг твердых частиц и при их схлопывании импульсы давления способствуют дальнейшему диспергированию частиц.

В-третьих, вновь образующаяся при диспергировании частиц поверхность чрезвычайно активна в момент образования. Сольватная оболочка газов образуется вокруг частиц и при сухом помоле дисперсной фазы (глины, утяжелителей) буровых растворов. Она затрудняет образование прочной гидратной оболочки или сольватной оболочки химических реагентов при приготовлении бурового раствора, способствуя коагуляции последнего. При кавитационном диспергировании частицы находятся в воде и вокруг них сразу формируется прочная гидратная оболочка или сольватная оболочка химических реагентов, стабилизирующая раствор. В результате можно получить стабильный буровой раствор с минимальной химической обработкой или даже без таковой.

Механическое (т.е. не диффузионное) смешение жидкости происходит благодаря растяжению и искривлению материальных элементов среды в процессе движения жидкости. Представим себе бесконечно малый сферический объем жидкости с центром в точке X , находящийся в начальный момент на входе в смеситель. В процессе движения жидкости будет происходить деформация этого объема и, как следствие, будут изменяться расстояния между составляющими его точками. Очевидно, если через некоторое время T в результате движения жидкости все точки этого объема будут равномерно распределены по всему объему среды, то можно говорить о хорошем перемешивании данного начального сферического объема. Степень “разбегания” точек локального объема можно характеризовать относительным удлинением начального расстояния между

ними и центральной точкой \mathbf{X} в процессе движения. Проведя усреднения по локальному объему, по всем возможным положениям точки \mathbf{X} и по времени смещения получим величину - среднее относительное удлинение - интегрально характеризующую степень перемешивания в данном процессе за данное время.

Таким образом, для анализа эффективности смещения можно использовать аппарат кинематики деформируемой среды

Пусть задан закон движения континуума:

$$\mathbf{x} = \Phi(\mathbf{X}, t), \quad \mathbf{X} = \Phi(\mathbf{x}, t = 0) \quad (4)$$

Частица с начальным радиус-вектором \mathbf{X} переходит в момент времени t в положение с радиус-вектором \mathbf{x} (здесь и далее векторные и тензорные величины выделены жирным шрифтом). Предполагается, что вектор-функция Φ непрерывна вместе со всеми своими частными производными и в каждый фиксированный момент времени является взаимно-однозначной. Как известно, в этом случае якобиан $J = \det\left(\frac{\partial x_i}{\partial X_j}\right) = \det(\mathbf{F})$ удовлетворяет условию $0 < J < \infty$.

Деформация элементарного материального отрезка $d\mathbf{X}$ определяется выражением:

$$d\mathbf{x} = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{X}.$$

Аналогично определяется изменение элементарной материальной площадки $d\mathbf{A}$ (модуль вектора, характеризующего площадку, равен ее площади, а направление вектора совпадает с нормалью к ней):

$$d\mathbf{a} = (\det \mathbf{F})(\mathbf{F}^{-1})^T \cdot d\mathbf{A},$$

где \mathbf{F} - тензор, характеризующий деформацию. Уравнения, описывающие скорости деформаций, записываются в виде:

$$\frac{D(d\mathbf{x})}{Dt} = d\mathbf{x} \cdot \nabla \mathbf{v}, \quad \frac{D(d\mathbf{a})}{Dt} = d\mathbf{a} \frac{D(\det \mathbf{F})}{Dt} - d\mathbf{a} \cdot (\nabla \mathbf{v})^T$$

Относительное удлинение λ и относительное увеличение площади η , определяемые как $\lambda = \lim_{|d\mathbf{x}| \rightarrow 0} \frac{|d\mathbf{x}|}{|d\mathbf{x}|}$, $\eta = \lim_{|d\mathbf{a}| \rightarrow 0} \frac{|d\mathbf{a}|}{|d\mathbf{a}|}$,

они могут быть получены из уравнений:

$$\lambda = (\mathbf{C} : \mathbf{M}\mathbf{M})^{1/2}, \quad \eta = (\det \mathbf{F}) (\mathbf{C}^{-1} : \mathbf{N}\mathbf{N})^{1/2},$$

где $\mathbf{C} = \mathbf{F}^T \cdot \mathbf{F}$, а $\mathbf{M} (= d\mathbf{x}/|d\mathbf{x}|)$ и $\mathbf{N} (= d\mathbf{a}/|d\mathbf{a}|)$ единичные векторы начальных ориентаций материальных элементов. Основные уравнения для определения интенсивностей относительных растяжений выписываются в форме: $\frac{D(\ln \lambda)}{Dt} = \mathbf{D} : \mathbf{m}\mathbf{m}$, $\frac{D(\ln \eta)}{Dt} = \nabla \cdot \mathbf{v} - \mathbf{D} : \mathbf{n}\mathbf{n}$ (5)

где $\mathbf{D} = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{v} + (\nabla \mathbf{v})^T)$ - тензор скоростей деформаций, а \mathbf{m} и \mathbf{n} - единичные векторы мгновенных ориентаций элементов ($\mathbf{m} = d\mathbf{x}/|d\mathbf{x}|$, $\mathbf{n} = d\mathbf{a}/|d\mathbf{a}|$).

Будем говорить, что в заданном течении происходит хорошее локальное перемешивание, если осредненные по времени значения величин $\frac{D(\ln \lambda)}{Dt}$, $\frac{D(\ln \eta)}{Dt}$ постоянны и положительны, независимо от начальных ориентаций \mathbf{M} , \mathbf{N} и начального положения материального элемента \mathbf{X} . Также используется сравнение течений в терминах безразмерных эффективностей растяжения:

$$e_\lambda(\mathbf{X}, \mathbf{M}, t) = \left(\frac{D(\ln \lambda)}{Dt} \right) / (\mathbf{D} : \mathbf{D})^{1/2} \leq 1, e_\eta(\mathbf{X}, \mathbf{N}, t) = \left(\frac{D(\ln \eta)}{Dt} \right) / (\mathbf{D} : \mathbf{D})^{1/2} \leq 1 \quad (6)$$

Отметим, что для случая течений несжимаемой жидкости коэффициенты удовлетворяют следующим оценкам, $e_i \leq \sqrt{(n-1)/n}$ ($i = \lambda, \eta$), где $n = 1, 2, 3$ - размерность течения. Большие значения этих коэффициентов соответствуют большим интенсивностям растяжения. Для чисто вязких жидкостей тензор \mathbf{D} характеризует вязкую диссипацию. В этом случае эти эффективности можно рассматривать как величины, характеризующие долю локально диссипированной энергии, идущей на растяжение жидких элементов.

Видно, что для получения величин, характеризующих растяжение жидких элементов по формулам (5) или (6), необходимо знать закон движения жидкости (4) для каждой жидкой частицы \mathbf{X} . Функции, описывающие этот закон, являются решением уравнений: $\frac{\partial \mathbf{x}(\mathbf{X}, t)}{\partial t} = \mathbf{v}(\mathbf{x}, t)$.

Поле скоростей \mathbf{v} , в свою очередь, являющееся решением систем уравнений в частных производных, описывающих течение жидкости (уравнения Эйлера, Навье-Стокса и т.п.), в большинстве случаев не может быть получено в аналитической форме и не во всех случаях может быть получено даже с помощью вычислительной техники.

Интенсивности растяжения (5) и эффективности растяжения (6) являются функциями трех переменных - времени, начальных ориентаций и положения, что делает их анализ чрезвычайно сложным. Поэтому, для сравнения течений необходимо использовать осредненные по времени t , начальным ориентациям \mathbf{M} , \mathbf{N} материальных элементов и по начальным положениям частиц \mathbf{X} величины этих характеристик.

Таким образом, решение задачи об оценке качества перемешивания в исследуемом процессе получается следующим образом.

Находятся нестационарные поля скоростей \mathbf{v} и давлений p из решения системы 4-х скалярных уравнений описывающих течение несжимаемой жидкости (типа Навье - Стокса):

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$$

в заданной геометрии и с соответствующими граничными и начальными условиями (ρ - плотность жидкости, $\boldsymbol{\tau}$ - девиаторная часть тензора напряжений, \mathbf{g} - вектор внешних массовых сил).

Затем, по полученным полям скоростей интегрированием системы уравнений $\frac{\partial \mathbf{x}(\mathbf{X}, t)}{\partial t} = \mathbf{v}(\mathbf{x}, t)$ с начальными условиями $\mathbf{x}(\mathbf{X}, t = 0) = \mathbf{X} \in X$ находятся траектории всех частиц жидкости как функции от \mathbf{X} и t .

Далее, для каждой частицы жидкости (идентифицируемой своей начальной координатой \mathbf{X}) определяется вдоль ее траектории тензор скоростей деформации $\mathbf{D}(\mathbf{X}, t)$ и для всех возможных начальных ориентаций $\mathbf{N} \in N$ и $\mathbf{M} \in M$ определяются конечные ориентации $\mathbf{n}(\mathbf{X}, \mathbf{N}, t)$, $\mathbf{m}(\mathbf{X}, \mathbf{M}, t)$.

После этого, с использованием формул (5) и (6) определяются усредненные по времени и начальным направлениям интенсивности и эффективности растяжения:

$$\begin{aligned} i_{\lambda}(\mathbf{x}, T) &\equiv \left\langle \frac{D(\ln \lambda)}{Dt} \right\rangle(\mathbf{x}, T) = \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{1}{|M|} \int_M \left(\frac{D(\ln \lambda)}{Dt} \right) d\mathbf{M} \right) dt, \\ i_{\eta}(\mathbf{x}, T) &\equiv \left\langle \frac{D(\ln \eta)}{Dt} \right\rangle(\mathbf{x}, T) = \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{1}{|N|} \int_N \frac{D(\ln \eta)}{Dt} d\mathbf{N} \right) dt \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} i_{\lambda}(\mathbf{x}, T) &\equiv \left\langle \frac{D(\ln \lambda)}{Dt} \right\rangle(\mathbf{x}, T) = \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{1}{|M|} \int_M \left(\frac{D(\ln \lambda)}{Dt} \right) d\mathbf{M} \right) dt, \\ i_{\eta}(\mathbf{x}, T) &\equiv \left\langle \frac{D(\ln \eta)}{Dt} \right\rangle(\mathbf{x}, T) = \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{1}{|N|} \int_N \frac{D(\ln \eta)}{Dt} d\mathbf{N} \right) dt \end{aligned}$$

Затем проводится усреднение по всем $\mathbf{X} \in X$:

$$\begin{aligned} I_{\lambda}(T) &= \frac{1}{|X|} \int_X i_{\lambda}(\mathbf{x}, T) d\mathbf{x}, & I_{\eta}(T) &= \frac{1}{|X|} \int_X i_{\eta}(\mathbf{x}, T) d\mathbf{x} \\ E_{\lambda}(T) &= \frac{1}{|X|} \int_X \langle e_{\lambda} \rangle(\mathbf{x}, T) d\mathbf{x}, & E_{\eta}(T) &= \frac{1}{|X|} \int_X \langle e_{\eta} \rangle(\mathbf{x}, T) d\mathbf{x} \end{aligned} \quad (8)$$

Описанная методика позволяет для любого течения, заданного своим полем скоростей, определить коэффициенты эффективности перемешивания и выбрать параметры течения таким образом, чтобы обеспечить максимальное значение этих коэффициентов.

Прежде чем выбрать генератор для реализации волновых эффектов был сделан полномасштабный обзор конструкций гомогенизаторов и диспергаторов.

Существующие диспергаторы можно разделить на несколько групп: роторные смесители (мешалки); статические смесители; струйные диспергаторы; коллоидные мельницы; щелевые гомогенизаторы; акустические и ультразвуковые диспергаторы.

Проведенный обзор позволил сделать следующие выводы:

1. Кавитация, сопровождаемая многочисленными вторичными эффектами, является мощным интенсифицирующим фактором процессов диспергирования, эмульгирования, гомогенизации, растворения, очистки.
2. Гидромеханическое, массообменные и другие процессы могут быть интенсифицированы при помощи кавитационного и бескавитационного (акустического) воздействий на обрабатываемую среду.
3. Вихревые кавитационные генераторы эффективно применяют в процессах диспергирования, растворения, эмульгирования, гомогенизации. Однако в теории и практике гидромеханического диспергирования остается много неясного.

Исходя из представленного выше современного состояния проблем применения кавитации и нестационарных течений в технологических целях, можно прогнозировать, что исследования гидромеханического диспергирования и разработка рациональных конструкций гидромеханических диспергаторов будут направлены на решение поставленных в диссертации задач, для чего необходимо провести теоретическое моделирование течения в вихревом кавитационном генераторе, а также сделать расчет гидродинамики генератора, его поля скоростей и гидродинамических сопротивлений.

Рассматривается стационарное закрученное течение вязкой жидкости в цилиндрической трубе длиной L . Ось OZ цилиндрической системы

координат (r, φ, z) совпадает с осью трубы и направлена в сторону потока. Введем безразмерные переменные: в качестве масштабов длины, скорости и плотности выберем радиус трубы R_T , среднюю по расходу продольную скорость $\langle V_z \rangle = \frac{Q}{\pi R_T^2}$ и плотность жидкости ρ . Допускаем, что при определенных условиях в осевой зоне течения возможно появление кавитационной каверны. Давлением газа в каверне пренебрегаем.

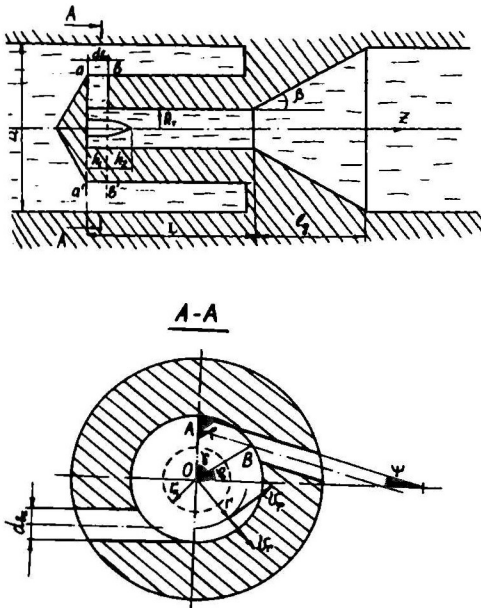


Рисунок 2. - Модель кавитационного диспергатора

Для описания течения воспользуемся уравнениями Навье - Стокса.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \nabla) V = -\nabla P + \frac{1}{\text{Re}} \Delta V$$

$$\text{div } V = 0$$

Сделаем следующие допущения: решение ищем стационарное и осесимметричное, радиальную компоненту скорости всюду считаем пренебрежимо малой. Для анализа закрученных вязких потоков без кавитации, заменим в конвективных членах уравнений продольную компоненту скорости V_z на ее среднее по сечению значение $\langle V_z \rangle \equiv 1$. Вместо уравнения непрерывности используем условие постоянства расхода жидкости в трубе.

$$\int_{R_k}^1 r V_z dr = 0,5 \quad (11)$$

В результате сделанных упрощений получим систему уравнений (12),

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial r} &= \frac{V_\varphi^2}{r} \\ \text{Re} \frac{\partial V_\varphi}{\partial z} - \frac{\partial^2}{\partial z^2} V_\varphi &= \frac{\partial^2}{\partial r^2} V_\varphi + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} V_\varphi - \frac{V_\varphi}{r^2} \\ \text{Re} \frac{\partial V_z}{\partial z} + \text{Re} \frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\partial^2}{\partial z^2} V_z &= \frac{\partial^2}{\partial r^2} V_z + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} V_z \end{aligned} \quad (R_k < r < 1) \quad (12)$$

где (V_r, V_φ, V_z) обозначают компоненты скорости, P - давление, $R_k(z)$ - радиус каверны, $Re = \frac{R_T \langle V_z \rangle}{\nu}$ - число Рейнольдса, ν - кинематическую вязкость жидкости.

В работе приведено решение этой системы уравнений при определенных граничных условиях, в результате получены формулы для определения частоты и амплитуды колебаний.

Построение адекватной математической модели, позволяющей получить оценки для спектра и амплитуды излучения кавитационного диспергатора, является весьма трудной задачей из-за сложной картины физических процессов, происходящих при зарождении и схлопывании кавитационных каверн и пузырьков.

Типичный спектр волн, возбуждаемых кавитационным диспергатором, представлен на рис.3.

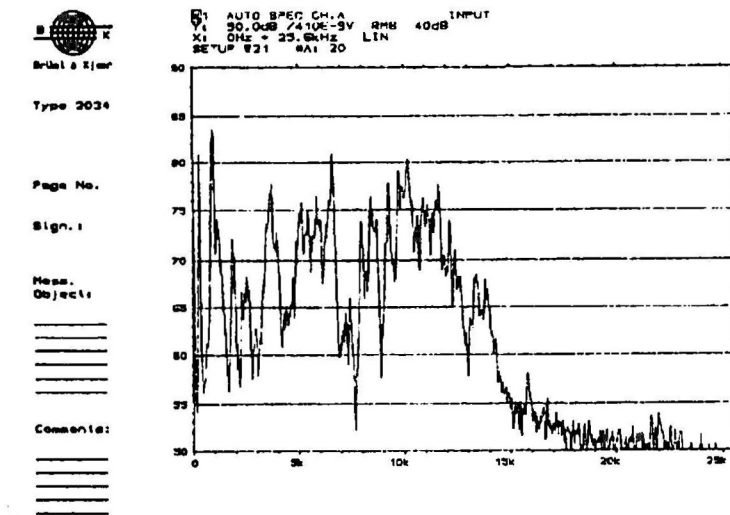


Рисунок 3.- Спект волн, возбуждаемых кавитационным диспергатором

Можно выделить две области спектра и, соответственно, два механизма возбуждения волн. Колебания в диапазоне от 0 до 4 кГц обусловлены движением кавитационной каверны в полости диспергатора. При этом наблюдаются преимущественно два типа движений: прецессия каверны вокруг продольной оси и бегущие волны на поверхности каверны. На рис.4 представлена фотография каверны, наблюдаемой в диспергаторе, изготовленном из прозрачного материала.

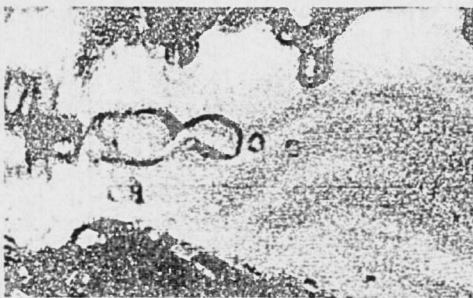


Рисунок 4. – Кавитационная каверна в полости диспергатора

На фотографии отчетливо видны поверхностные волны. Колебания в диапазоне от 5кГц и выше (до 30 кГц) обусловлены схлопыванием пузырьков, отрывающихся от тела коверны

Амплитуда импульса давления зависит от физических процессов, происходящих в процессе схлопывания, и может быть очень большой. Так, например, в предельном случае, когда теплопроводность жидкости достаточно велика, чтобы отводить или подводить все тепло, которое выделяется при фазовых переходах, компенсирующих изменение размеров пузырька, амплитуда давления растет неограниченно.

Таким образом, в результате теоретических исследований можно сделать следующий вывод.

Создана модель для расчета течения в рабочей камере диспергатора с учетом явления кавитации. На основе представленной модели проведены расчеты поля скоростей и определено гидродинамическое сопротивление диспергатора. Обнаружен эффект «аномального» поведения сопротивления, вызванный перестройкой течения при возникновении кавитационной каверны.

Показаны механизмы возбуждения акустических колебаний. Приведены формулы для получения оценок частот и амплитуд излучения,

что является обязательным при разработке технологий волновой обработки буровых технологических жидкостей.

В третьем разделе сформулировано обоснование необходимости волновой обработки при приготовлении тампонажного раствора.

Тампонажные материалы на основе минеральных вяжущих по своей природе и технологическим особенностям их применения не могут сами по себе обеспечить абсолютно надежного разобщения пластов нефтяных и газовых скважин. Следует учитывать ряд факторов, назовем основные из них. Это, во-первых, большое водосодержание, вызванное технологической необходимостью обеспечения их прокачиваемости, приводящее к таким нежелательным явлениям, как седиментационная неустойчивость и расслоение тампонажного раствора, ведущим в последующем к ухудшению структуры порового пространства, снижению прочности и повышению проницаемости тампонажного камня. Во-вторых, это контракционные явления, о которых говорилось выше и, наконец, это так называемое «зависание» тампонажного раствора, приводящее к снижению давления на флюидосодержащие пласты и влекущее за собой проникновение флюидов в твердеющей тампонажный раствор. Поэтому необходим набор технических средств и технологических приемов, позволяющих устранять, либо резко уменьшать отрицательное влияние названных факторов и процессов.

На экспериментальных установках совместно В.Н. Сониным и Л.Е. Украинским были проведены исследования по изучению влияния воздействия волнового поля на основные технологические характеристики тампонажного раствора и камня из него.

Влияние волнового поля на сроки схватывания цементных растворов

Если волновая обработка производится на стадии формирования коагуляционной структуры в системе цемент-вода, то имеет место тиксотропия, т.е. обратимое восстановление разрушенной структуры. Причем разрушение коагуляционной структуры, сформированной, как

правило, четырехкальциевыми алюмо-ферритами со слабыми структурными связями, приводит к появлению дополнительных центров кристаллизации и высаживанию на них двух - и трехкальциевых силикатов, формирующих основную, прочную и плотную структуру твердеющего камня. Если же волновое поле прикладывается на стадии образования кристаллизационной структуры, то имеет место необратимое разрушение возникающих кристаллизационных контактов и связей, что может привести к замедлению формирования разрушенной структуры, потере прочности и увеличению проницаемости камня.

Влияние волнового поля на прочность цементного камня

Обработка цементных растворов всех марок ультразвуковыми колебаниями приводит к увеличению прочности цементного камня в среднем в два раза. Виброобработка тампонажных растворов гидровибрациями в течении различного времени, также показала, что прочность образцов из виброобработанного цементного раствора на 18-20% выше прочности образцов из цементного раствора, который прокачивали по замкнутому кругу 30 мин. без вибраций.

Влияние волнового поля на проницаемость цементного камня

Снижение проницаемости цементного камня приготовленного из виброобработанного раствора объясняет более глубокой и полной гидратацией зерен исходного клинкера, что приводит к увеличению новообразований в единице объема и созданию мелкокристаллической структуры цементного камня.

Минимальная проницаемость, особенно для камня, твердевшего двое суток, приходится на тот же временной интервал порядка от 60 до 180 минут.

Влияние волнового поля на сцепление цементного камня с породой

При воздействии волнового поля разрушение глинистой корки происходит интенсивнее. Кроме того, в волновом поле, по-видимому, при сравнительно малых скоростях прокачивания цементного раствора в нем

разрушаются структурные связи и поток турбулизируется. Наблюдаются случаи, когда при сравнительно небольших скоростях потока (до 1,2 м/с) полностью удаляется глинистая корка и частицы цементного раствора проникают в поры песчанника, образуя с ним монолит (рис.5).

В условиях опыта сцепление не может быть выше $\tau > 5,5$ МПа, что объясняется механической прочностью образцов искусственного песчанника.

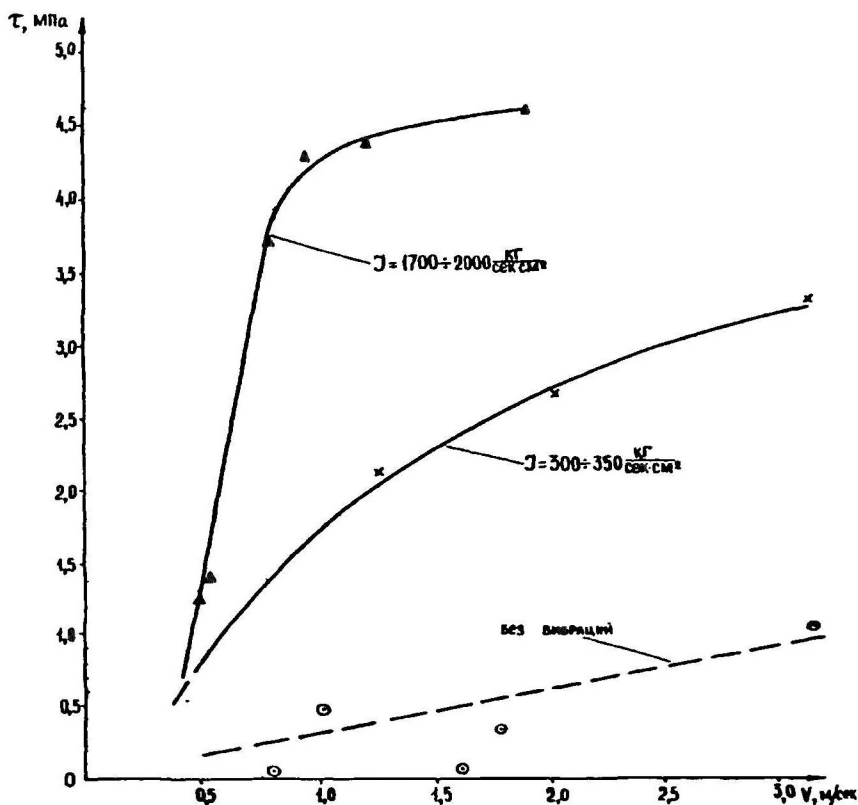


Рисунок 5 - Зависимость $\tau = f(v)$ при различных уровнях интенсивности вибраций

Можно сделать заключение, что при равных скоростях прокачивания сцепление увеличивается при повышении интенсивности вибрационного поля.

Показано, что для реальных условий при частоте волнового поля в форме гидроударных импульсов равной 175 гц амплитуда должна быть равной 0,4 МПа.

Четвертый раздел посвящен разработке технологий интенсификации процессов приготовления промысловых и тампонажных растворов с необходимыми технологическими свойствами на основе разработанных волновых генераторов, их расчету, компьютерному моделированию и экспериментальной проверке разработанных теоретических положений, позволяющих в ресурсосберегающем режиме решать поставленные задачи бурения скважин без осложнений при повышении качества разобщения пластов и герметизации заколонного пространства нефтяных и газовых скважин.

Важным для создания технологии интенсификации процессов приготовления и гомогенизации буровых технологических жидкостей являются проведенные эксперименты по активации сухих тампонажных материалов.

Целью исследования явилось изучение свойств водоцементных смесей (теста) и полученных из него образцов цементного камня, изготовленных из сухого порошка цемента, подвергнутого волновому воздействию (активации). В процессе работы определялись локальные и интегральные характеристики водоцементной среды (теста) и цементного камня в зависимости от продолжительности активации и параметров волнового воздействия.

Для активации сухого порошка пространственными нелинейными волнами использовалась специально созданная установка.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Активация рабочего тела производилась в рабочей камере, в которой возбуждались нелинейные волны от специального генератора. В качестве рабочего тела использовался цемент марки 500 со сроком хранения 2 года. Для исключения образовавшихся в результате длительного хранения крупных конгломератов был проведен просев через сито с размером ячейки 2х6 мм.

Обработка результатов проводилась с помощью специально разработанной компьютерной программы.

На основании проведенного экспериментального исследования свойств водоцементной среды, одной из составляющих которой является активированный нелинейными волнами сухой порошок цемента, и изготовленных из нее образцов цементного камня, можно сделать следующие выводы:

- Показано, что водоцементная смесь при увеличении времени волнового воздействия (активации) на сухой порошок цемента приобретает более высокую подвижность (текучесть). Так, например, активация порошка цемента в течение 5 минут приводит к увеличению подвижности водоцементной среды не менее чем на ~ 50%.

- Прочность образцов цементного камня, изготовленных из водоцементной среды на основе активированного сухого порошка цемента, возрастает. Так, активация порошка в течение 15 минут способствует увеличению прочности разрушения на сжатие образцов по истечении 28 суток выдержки в воде ~ на 34%.

- Увеличивается темп нарастания прочности разрушения на сжатие образцов цементного камня, изготовленных из водоцементной смеси на основе активированного порошка цемента. Так, например, активация порошка цемента в течение $\tau=15$ мин. позволяет образцам цементного камня по истечении 9 суток выдержки приобрести такую же прочность, какую

приобретают изготовленные из неактивированного цемента образцы за 28 суток.

- При активации происходит изменение структуры проб водоцементной среды, при этом, в случае если время волнового воздействия менее некоторого критического $\tau_{кр}$, увеличивается процентное число фрагментов с меньшими размерами и уменьшается их средний диаметр. При $\tau > \tau_{кр}$ имеет место коагуляция частиц в более крупные образования, сопровождающаяся также ростом прочности на сжатие.

- Разработан метод, алгоритм и программа обработки микрофотографий дисперсных сред.

Для реализации технологии приготовления промывочных и тампонажных растворов с введением различных химически активных и инертных добавок разработана полупромышленная установка (рис.6)

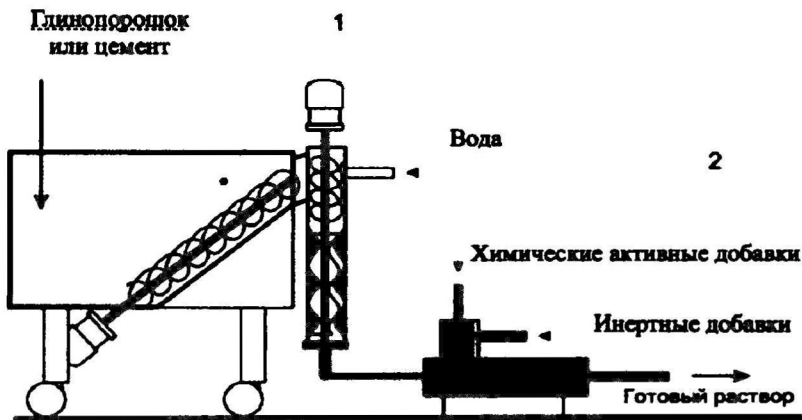


Рисунок 6. - Полупромышленная установка для технологии приготовления промывочных и тампонажных растворов

Комплекс состоит из машины приготовления водного раствора вяжущего, волнового проточного генератора с телами обтекания и оборудования подачи различных добавок.

Перемешивание сухой смеси с водой осуществляется в штукатурной станции (1), после чего раствор, за счет давления создаваемого насосом штукатурной станции, подается в волновой генератор (2). Дополнительно в волновой диспергатор (при необходимости) осуществляется подача дозированного количества различных добавок.

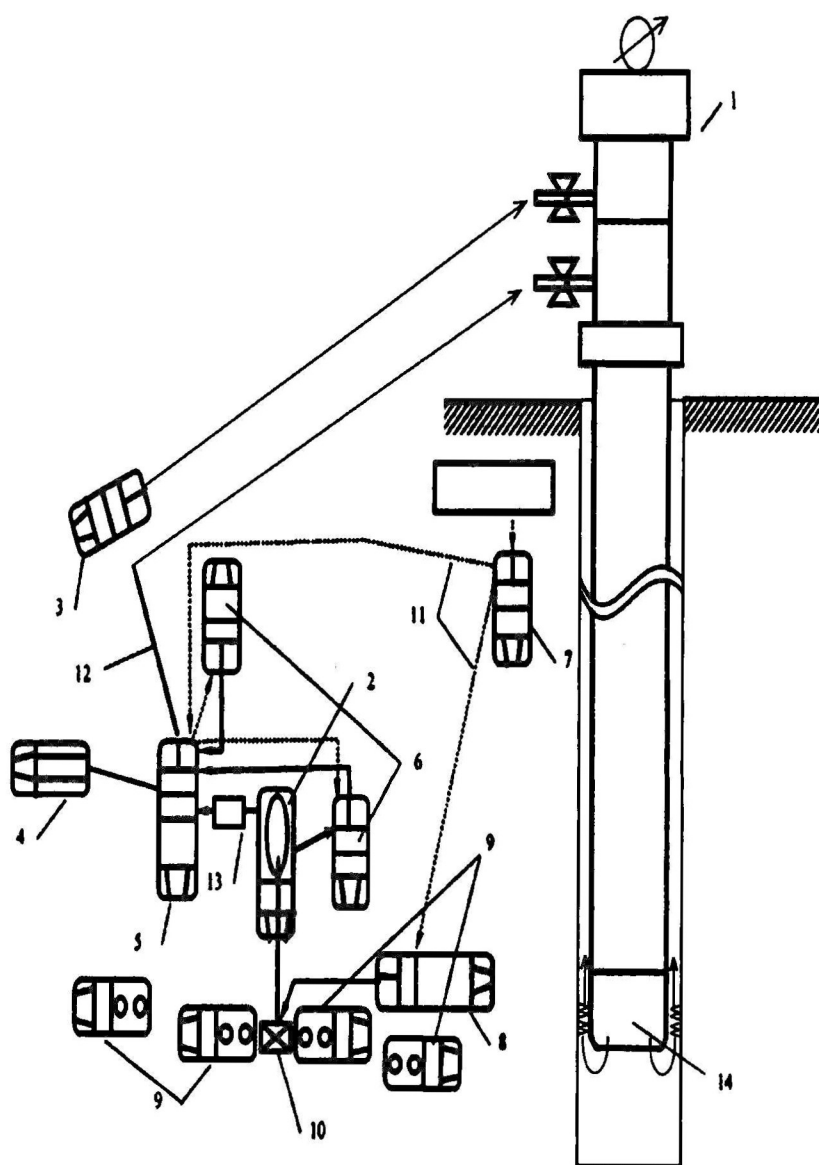
Волновой диспергатор не требует дополнительной энергии и не содержит подвижных частей. Работа осуществляется за счет энергии давления, создаваемого насосом растворной станции, при этом потеря давления смеси, затрачиваемое на работу волнового диспергатора составляют не более 3 атм.

Процесс производства промывочного раствора и тампонажной суспензии является непрерывным, производительность в данном случае определяется характеристиками растворной станции или в любом другом случае – производительностью насосов.

При цементировании обсадных колонн проточный генератор с телами обтекания включается в обвязку перед осреднительной емкостью (рис.7, поз.13).

Для герметизации заколонного пространства и обеспечения высокого качества разобщения продуктивных пластов, разработана технология создания волнового поля в зоне их разобщения генераторами вихревого типа, размещенными в башмаке обсадной колонны (рис.7, поз.14).

Рисунок 7.



1 – цементирующая головка; 2 – осреднительная емкость (УОП); 3 – цементируочный агрегат (ЦА-320), участвующий в пуске пробки; 4 – станция контроля (СКУПЦ-К); 5 – цементируочный агрегат (УНП 2320-40); 6 – цементируочные агрегаты (ЦА-320), участвующие в нагнетании тампонажного раствора и продавочной жидкости в скважину; 7 – цементируочный агрегат (УНУ 160-40), участвующий в затворении тампонажного раствора; 9 – смесительная машина (2СМН-20); 10 – гидроворонка; 11 – линия подачи жидкости затворения и продавочной жидкости; 12 – нагнетательная линия; 13 – проточный генератор с телами обтекания; 14 – башмак обсадной колонны с генератором вихревого типа

Этот вихревой генератор работает от энергии прокачиваемой через него жидкости во время промывки перед цементированием, покачивания и продавливания через него тампонажного раствора.

По предварительным расчетам волновое поле, создаваемое вихревым генератором воздействует на прокачиваемую через него жидкость и вмещающую среду примерно 50 м до и 50 м после генератора.

Таким образом, достигается смыв фильтрационной корки и обеспечение надежного сцепления тампонажного камня с породой.

Проведенное компьютерное моделирование и расчет гидродинамических показателей работы генератора, размещенного в башмаке обсадной колонны, показали хорошую сходимость с результатами экспериментальных исследований, проведенных на экспериментальных установках и на стендах НЦ НВМТ РАН.

Можно констатировать, что разработана технология приготовления, гомогенизации буровых технологических жидкостей и, тем самым, улучшения физико-механических свойств промывочных и тампонажных растворов с применением волновых генераторов, работающих в энергосберегающем кавитационном режиме.

Разработанная технология позволяет значительно улучшить качество работ по бурению основного ствола скважины и разобщению пластов с обеспечением герметизации заколонного пространства в наиболее ответственном месте – в зоне продуктивного пласта.

Основные выводы и рекомендации

1. На основании научного обобщения требований к технологическим характеристикам буровых и тампонажных растворов разработаны научные основы ресурсосберегающих технологий качественного их приготовления, гомогенизации и активации на основе созданных научным коллективом НЦ НВМТ РАН современных волновых генераторов третьего поколения.

2. В результате обзора существующих технологий, а также проведенных лабораторных, стендовых и натурных экспериментов доказано:

2.1. Кавитация, сопровождаемая многочисленными вторичными эффектами, является мощным интенсифицирующим фактором процессов диспергирования, эмульгирования, гомогенизации, растворения, очистки.

2.2. Гидромеханические, массообменные и другие процессы могут быть интенсифицированы при помощи кавитационного воздействия на обрабатываемую среду.

2.3. Кратно увеличивается скорость приготовления промывочной жидкости на основе глинопорошка и ее гомогенизация с различными малыми добавками, регулирующими технологические характеристики суспензии.

3. В результате теоретического моделирования течения жидкости в исследуемых волновых генераторах третьего поколения, проведены расчеты их гидродинамики, полей скоростей и гидродинамических сопротивлений. Обнаружен эффект аномального поведения сопротивления, вызванный перестройкой течения при возникновении кавитационной каверны. Показаны

механизмы возбуждения акустических колебаний. Приведены формулы для получения оценок частот и амплитуд излучения.

4. Проведенные эксперименты на лабораторных и полупромышленных установках показали:

4.1 при наложении волнового поля на движущийся цементный раствор прочность полученного из него камня возрастает на 18-20%, сроки начала схватывания уменьшаются на 15% и на 30-40% сокращается время от начала до конца схватывания;

4.2 при скорости потока 1,0-1,2 м/с, частоте 127-175 Гц и амплитуде 0,4 МПа достигается наилучшая степень сцепления образца цементного камня с породой, при наличии на ней глинистой корки.

5. Разработана технология качественного разобщения пластов, заключающаяся в подготовке необходимого по плотности тампонажного раствора (облегченный, утяжеленный) прокачкой его через наземный волновой проточный генератор с телами обтекания и последующей обработкой его волновым полем в процессе цементирования вихревым генератором, размещенным в башмаке обсадной колонны.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ганиев С.Р. Теоретическое исследование механизма возбуждения акустических колебаний в вихревом кавитационном генераторе / Ганиев С.Р., Кузнецов Р.Ю. // НТЖ «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов». – Уфа, 2009, № 4(78), С. 12-17

2. Получение устойчивой мелкодисперсной системы при приготовлении высокотехнологичных смазочных сред с применением волновой технологии [Текст] / О.Р. Ганиев, С.Р. Ганиев, А.Г. Чукаев и др.

// Химия и технология топлив и масел.- 2009.- № 5.- С. 37-40

3. Беляев, Ю.А. Волновая технология получения эмульсии минеральное масло – вода [Текст] / Ю.А. Беляев, С.Р. Ганиев, А.Г. Чукаев // Химия и технология топлив и масел.- 2009.- № 4.- С. 38-40.

4. Пат. 2306972 Российская Федерация, МПК B01F 5/00. Устройство для гомогенизации и приготовления смесей [Текст] / Кормилицын В.И., Украинский Л.Е., Ганиев С.Р.и др.; заявитель и патентообладатель Науч. центр нелинейной волновой механики и технологии РАН. - № 2005131989/15(035857); заявл. 17.10.2005; опубл. 02.02.2007, Бюл. № 27.- с.

5. Пат. 2310132 Российская Федерация, МПК F23K 5/12. Способ подготовки и сжигания жидкого топлива и устройство для его осуществления [Текст] / Андреев О.П., Фролов А.А., Ганиев С.Р., и др.; заявитель и патентообладатель Науч. центр нелинейной волновой механики и технологии РАН. - № 2006135183/06(038296); заявл. 05.10.2006; опубл. 10.05.2007, Бюл. № 31.- с.

6. Пат. 2310133 Российская Федерация, МПК F23K 5/12. Энергетическая установка для сжигания жидкого топлива [Текст] / Андреев О.П., Фролов А.А., Ганиев С.Р. и др.; заявитель и патентообладатель Науч. центр нелинейной волновой механики и технологии РАН. - №2006135184/06(038297); заявл. 05.10.2006; опубл. 10.05.2007, Бюл. № 31.- с.

7. Волновые технологии и машины: Волновые явления в технологиях [Текст]: /Авт.-сост. А.Д. Веденин, О.Р. Ганиев, С.Р. Ганиев и др.; под ред. академика Р.Ф.Ганиева.-М.: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2008.- 66 с.-(Нелинейная волновая механика).-В надзаг.: Рос. акад. наук, Науч. центр нелинейной волновой механики и технологии РАН.

8. Кормилицын, В.И. Моделирование гидродинамических характеристик потока жидкости в проточных каналах за

турбулизирующими решетками [Текст] / В.И. Кормилицын, С.Р. Ганиев, В.В. Чередов / / Материалы VII Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях(NPNJ-2008), Алушта, 24-31 мая 2008 г. - С. 236-237.

9. Кормилицын, В.И. Моделирование гидродинамических и кавитационных характеристик потока жидкости в проточных каналах за турбулизирующими решетками [Текст] // В.И. Кормилицын, С.Р. Ганиев, В.В. Чередов // Третья Международная конференция «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках», Москва, 21-23 октября 2008 г. – С.45-46

10. О моделировании гидродинамики при волновом перемешивании жидкостей [Текст]: тезисы доклада / Р.Ф. Ганиев, В.Н. Фомин, А.Г. Чукаев и др. // Международная конференция «Потоки и структуры в жидкостях: Физика геосфер», Москва, 24-27 июня 2009 г.- С. 17-19

11. Ганиев, С.Р. Нетрадиционный подход к заканчиванию скважин на основе волновых технологий [Текст] / С.Р. Ганиев, Р.Ю. Кузнецов, Д.Р. Султанов // Международный научно-практический семинар «Повышение нефтеотдачи пластов и капитальный ремонт скважин», Самара, 26-31 мая 2000, С. 49-51.

12. Ганиев, Р.Ф. Анализ научно-технической литературы и нормативно-технических материалов [Текст] / Р.Ф. Ганиев, В.И. Кормилицын, Л.Е. Украинский, при участии С.Р. Ганиева // Ганиев, Р.Ф. Волновая технология приготовления альтернативных видов топлив и эффективность их сжигания [Текст] / Р.Ф. Ганиев, В.И. Кормилицын, Л.Е. Украинский.- М.: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2008.- С. 14-21.

13. Ганиев, Р.Ф. Эмульсии масло-вода [Текст] / Р.Ф. Ганиев, В.И. Кормилицын, Л.Е. Украинский, при участии С.Р. Ганиева // Ганиев,

Р.Ф. Волновая технология приготовления альтернативных видов топлив и эффективность их сжигания [Текст] / Р.Ф. Ганиев, В.И. Кормилицын, Л.Е. Украинский.- М.: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2008.- С. 57-59.

14. Ганиев, Р.Ф. Водобитумные эмульсии [Текст] / Р.Ф. Ганиев, В.И. Кормилицын, Л.Е. Украинский, при участии С.Р. Ганиева // Ганиев, Р.Ф. Волновая технология приготовления альтернативных видов топлив и эффективность их сжигания [Текст] / Р.Ф. Ганиев, В.И. Кормилицын, Л.Е. Украинский.- М.: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2008.- С. 60-62.

15. Ганиев, Р.Ф. Волновая технология в строительной промышленности [Текст] / Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский, при участии С.Р. Ганиева // Ганиев, Р.Ф. Нелинейная волновая механика и технологии [Текст] / Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский.- М.: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2008.- С. 647-656.

Соискатель



С.Р. Ганиев

Подписано в печать 18.02.10 Тираж 100 экз Заказ 426

Отпечатано в ООО «Аваграфия»

628400, г. Сургут, ул. Профсоюзов, 31 офис 126

Тел.: (3462) 32-33-32